



GP 2811  
# 6  
PST  
02 20-02

Docket No. 1999P8006 P

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to the Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231, on the date indicated below.

By: Markus Noll Date: October 18, 2001

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Detlef Hommel et al.  
Applic. No. : 09/915,985  
Filed : July 25, 2001  
Title : Semiconductor Component for Generating Polychromatic  
Electromagnetic Radiation  
Art Unit : 2811

**CLAIM FOR PRIORITY**

Hon. Commissioner of Patents and Trademarks,  
Washington, D.C. 20231

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 199, based upon the German Patent Application 199 02 750.1, filed January 25, 1999.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

MARKUS NOLFF  
REG. NO. 37,006

For Applicants

Date: October 18, 2001

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100  
Fax: (954) 925-1101

/kf

RECEIVED  
JAN 14 2002  
TC 2800 MAIL ROOM



# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



RECEIVED  
JAN 14 2002  
TC 2800 MAIL ROOM

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 199 02 750.1

**Anmeldetag:** 25. Januar 1999

**Anmelder/Inhaber:** Osram Opto Semiconductors GmbH & Co OHG,  
Regensburg/DE

**Erstanmelder:** Siemens Aktiengesellschaft,  
München/DE

**Bezeichnung:** Halbleiterbauelement zur Erzeugung von  
mischfarbiger elektromagnetischer Strahlung

**IPC:** H 01 L 33/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. September 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Ebert

## Beschreibung

Halbleiterbauelement zur Erzeugung von mischfarbiger elektromagnetischer Strahlung

5

Die Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement zur Erzeugung von mischfarbiger elektromagnetischer Strahlung, insbesondere von weißem Licht, das einen Halbleiterchip mit einer ersten Halbleiterschicht und einer benachbart zu dieser angeordneten zweiten Halbleiterschicht mit einem elektrolumineszierenden Bereich aufweist.

10

Weißes Licht wird heutzutage hauptsächlich mit Glühlampen oder Leuchtstoffröhren erzeugt, die Licht mit einem breiten Wellenlängenspektrum abgeben.

15

Lichtemittierende Halbleiterbauelemente, wie Lumineszenzdiolen (LEDs) oder Halbleiterlaserdioden, haben hingegen ein Emissionsspektrum, das typischerweise nur 10 bis 25 nm breit ist, d. h. sie sind nahezu monochromatisch. Sie haben aber den besonderen Vorteil, daß sie nur einen Bruchteil des Stromes benötigen, den eine Glühlampe oder eine Leuchtstoffröhre benötigt. Zudem ist ihre Lebensdauer deutlich größer als die von Glühlampen oder Leuchtstoffröhren. Wenn ein großflächiger Emitter notwendig ist, können LEDs oder Laserdioden auf einfache Weise zu Arrays zusammengeschaltet werden.

20

25

Mit LEDs der drei Grundfarben rot, grün und blau oder der zwei Komplementärfarben blau und gelb läßt sich durch additive Farbmischung Licht erzeugen, das für das menschliche Auge weiß erscheint. Besondere Nachteile sind hierbei aber, daß drei bzw. zwei Lumineszenzdiolen einzeln elektrisch angesteuert werden müssen, wodurch aufwendige Ansteuerelektroniken (verschiedenartige LEDs benötigen in der Regel unterschiedliche Ansteuerspannungen) notwendig sind, daß ein hoher Montageaufwand erforderlich ist und daß die Bauteil-Miniaturisierung stark begrenzt ist.

30

35

In der WO97/50132 ist ein weißes Licht emittierendes Lumineszenzdioden-Bauelement beschrieben, bei dem auf einen blauen Licht emittierenden Lumineszenzdiodenchip beispielsweise eine YAG-Phosphor enthaltende Lumineszenz-Konversionsschicht aufgebracht ist. Die Lumineszenz-Konversionsschicht emittiert bei Anregung durch blaues Licht oder UV-Strahlung im gelben Spektralbereich. Für das Auge wird die Mischfarbe aus blauem Primär- und gelbem Sekundärlicht als Weiß wahrgenommen. Nachteilig ist hier der/die zusätzliche/n Prozeßschritt/e zum Herstellen der Lumineszenz-Konversionsschicht.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein mischfarbiges Licht aussendendes Halbleiterbauelement zu entwickeln, dessen Herstellung einen geringen technischen Aufwand erfordert.

Dies Aufgabe wird im Wesentlichen durch ein Halbleiterbauelement mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen des Halbleiterbauelements sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 6.

Bei einem Halbleiterbauelement der eingangs genannten Art weist demgemäß die erste Halbleiterschicht vorzugsweise ein Material auf, dessen Lage der Absorptionskante einer Wellenlänge  $\lambda_{\text{abs}}$  entspricht, die größer ist als die Wellenlänge  $\lambda_{\text{E}}$  der von der zweiten Halbleiterschicht emittierten Strahlung, und das bei Anregung mit Strahlung einer kleineren Wellenlänge als  $\lambda_{\text{abs}}$  Strahlung der Wellenlänge  $\lambda_{\text{R}}$  re-emittiert, die größer ist als  $\lambda_{\text{abs}}$ .

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist als erste Halbleiterschicht das Substrat zum epitaktischen Aufwachsen der zweiten Halbleiterschicht genutzt.

Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist sowohl die erste als auch die zweite Halbleiterschicht mittels Epitaxie auf einem Aufwachs-Substrat aufgebracht.

- 5 Eine vorteilhafte Ausführungsform weist auf, eine erste Halbleiterschicht (R), die ZnSe, und eine zweite Halbleiterschicht (E), die ein  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Se}/\text{ZnSe}$ -Quantentrogssystem (mit  $0 \leq x \leq 1$ ), insbesondere ein Mehrfachquantentrogssystem, als aktive Zone enthält.

10

Mit dem Begriff Halbleiterschicht ist hier nicht nur eine einzelne Schicht aus homogenem Halbleitermaterial gemeint, sondern kann auch ein Schichtsysteme oder eine Schichtenfolge aus mehreren verschiedenen Schichten und/oder gradierte Schichten gemeint sein.

15

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von drei Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren 1 bis 5 näher erläutert. Es zeigen:

20

Figur 1 einen ersten prinzipiellen Aufbau eines Lumineszenzdiodechips

Figur 2 einen zweiten prinzipiellen Aufbau eines Lumineszenzdiodechips

Figur 3 einen dritten prinzipiellen Aufbau eines Lumineszenzdiodechips und

25

Figur 4 ein prinzipielles Wellenlängenspektrum eines erfindungsgemäßen Lumineszenzdiodechips

Figur 5 ein prinzipielles Bänderschema eines erfindungsgemäßen Lumineszenzdiodechips.

30

Bei dem prinzipiellen Aufbau eines Lumineszenzdiodechips C gemäß Figur 1 ist auf einem Substrat R eine funktionelle Halbleiterschicht E aufgebracht.

35

In der Regel ist das Substrat R einkristallin und mittels Ziehen aus der Schmelze, Schneiden in dünne Scheiben und Polieren hergestellt.

Unter einer funktionellen Halbleiterschicht E, die im folgenden meist kurz mit Emissionsschicht E bezeichnet wird, ist eine Anordnung einer oder mehrerer Halbleiterschichten zu verstehen, die dazu dienen, bei Stromfluß durch den Chip in einem elektrolumineszierenden Bereich B elektromagnetische Strahlung zu erzeugen.

Das Substrat R ist mit einer Dicke von mehreren 100µm als stabile mechanische Unterlage etwa einen Faktor 100 dicker als eine auf diesem epitaktisch gewachsene Emissionsschicht E.

Eine typische funktionelle Halbleiterschicht E eines Lumineszenzdiodechips besteht bekannterweise meist aus einer Mehrzahl von Halbleiterschichten unterschiedlicher Dicke, Zusammensetzung und Dotierung. Oft kommt als elektrolumineszierender Bereich B ein p-n-Übergang mit Quantenfilm(en) zum Einsatz. Die Dicke des Gesamtsystems liegt üblicherweise im µm-Bereich.

Um gezielte Änderungen der Eigenschaften durch gezielte Verunreinigungen (Dotierung) oder Beimischungen, sowie die Herstellung von atomar glatten Grenzflächen innerhalb der funktionellen Halbleiterschicht E zu erzielen ist diese beispielsweise mittels MBE (Molekularstrahlepitaxie) und/oder MOVPE (Metallorganische Dampfphasenepitaxie) hergestellt.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 ist die Emissionswellenlänge  $\lambda_E$  der funktionellen Halbleiterschicht E kürzer als die Wellenlänge  $\lambda_{abs}$ , die der Absorptionskante des Substrates R entspricht.

Im Substrat R dominiert bei Raum- bzw. Betriebstemperatur die strahlende Rekombination bei der Wellenlänge  $\lambda_R$  (Re-Emissionswellenlänge) mit einer hohen Effektivität, wenn mit Strahlung kürzerer Wellenlänge als  $\lambda_{abs}$  angeregt wird. Die

Bandlücke vom Substrat R ist demnach kleiner als die des emittierenden Überganges der Emissionsschicht E. Im Substrat R erfolgt im Betrieb des Lumineszenzdiodechips eine Absorption zumindest eines Teiles der von der Emissionsschicht E in Richtung des Substrats R ausgesandten Strahlung. Es folgt eine Re-Emission vom Substrat R bei einer Re-Emissionswellenlänge  $\lambda_R$ , die größer ist als  $\lambda_{abs}$ , wobei hier Zustände in der Bandlücke des Substrates R beteiligt sind.

10 Damit ist ein kompakter Chip realisiert, der Strahlung S zweier deutlich unterschiedlicher Wellenlängen emittiert. Weil sich beide lichterzeugenden Volumina in unmittelbarer Nähe zueinander befinden, kann für das menschliche Auge der Eindruck von mischfarbigem Licht und im Spezialfall auch von  
15 weißem Licht entstehen. Dieser Effekt wird noch verstärkt, wenn sich der Lumineszenzdiodechip, wie bei LEDs üblich und in Figur 1 schematisch dargestellt, in einem kleinen Parabolspiegel P befindet.

20 Das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 unterscheidet sich von dem der Figur 1 im Wesentlichen dadurch, daß die Absorption und Re-Emission nicht im Aufwachs-Substrat A stattfindet, sondern daß hier eine separate Re-Emissionsschicht R vorgesehen ist, die zwischen dem Aufwachs-Substrat A und der Emissionsschicht E angeordnet ist und die dieselben Eigenschaften aufweist, wie das Substrat des Ausführungsbeispiels von Figur 1. Das Aufwachs-Substrat A ist hier entweder transparent oder absorbierend ausgebildet und dient hier ausschließlich als Aufwachs-Substrat.

30

Das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 3 ist im Wesentlichen identisch zu dem der Figur 2, bis auf den Unterschied, daß hier die Re-Emissionsschicht R nicht zwischen dem Aufwachs-Substrat A und der funktionellen Halbleiterschicht B, sondern  
35 auf der dem Aufwachs-Substrat A gegenüberliegenden Seite der Emissionsschicht E angeordnet ist.

Durch Variation z. B. der Quantentrogdicke in einer funktionellen Halbleiterschicht E mit Quantentrogstruktur oder der Zusammensetzung(en) in der funktionellen Halbleiterschicht E kann die Emissionswellenlänge  $\lambda_E$  in gewissen Grenzen eingestellt werden, wobei die Bedingung  $\lambda_E < \lambda_{abs}$  zu beachten ist. Die Lage der Absorptionskante des Substrats bzw. der Re-Emissionsschicht R ist durch die Wahl des Substrat- bzw. Re-Emissionsschicht-Materials bestimmt. Die Re-Emissionswellenlänge  $\lambda_R$  (relativ zur Absorptionskante A) hängt von der Art der Erzeugung der Zustände der Bandlücke ab.

#### Das Verhältnis

(Intensität der vom Substrat R bzw. Re-Emissionsschicht R emittierten Strahlung)/(Intensität der von der funktionellen Halbleiterschicht E emittierten Strahlung)

kann gezielt beeinflußt werden durch:

- a) die Dicke des Substrates bzw. der Re-Emissionsschicht R und damit des absorptiven und re-emittierenden Volumens (dies kann z. B. durch Abdünnen erreicht werden);
- b) die Rate der strahlenden Rekombination im Substrat bzw. der Re-Emissionsschicht R (dies kann durch gezielte Einbringung von (nicht) strahlenden Rekombinationskanälen erfolgen);
- c) die Effektivität des Wellenleiters (extrem helle LEDs sind als sogenannte Doppelheterostrukturen aufgebaut; dabei erreicht man einen wellenleitenden Effekt senkrecht zur Wachstumsrichtung durch entsprechende Brechzahlssprünge der Schichten; je besser diese Wellenführung, desto weniger Photonen werden überhaupt in das Substrat bzw. in die Re-Emissionsschicht R gelangen und desto größer wird ihr Anteil im Vergleich zu der vom Substrat bzw. von der Re-Emissionsschicht R emittierten Strahlung); und
- d) die Lage der Emissionswellenlänge  $\lambda_E$  relativ zur Absorptionskante des Substrates bzw. der Re-Emissionsschicht R (je näher die Emissionswellenlänge  $\lambda_E$  an der Absorptionskante des Substrates bzw. der Re-Emissionsschicht R liegt, de-



sto transparenter wird das Substrat bzw. die Re-Emissionsschicht R und desto geringer wird die Absorption/Re-Emission dort. Um den Substrat- bzw. Re-Emissionsschicht-Anteil geringer zu halten, kann es auch  
5 notwendig sein, von der Bedingung  $\lambda_E < \lambda_{abs}$  abzuweichen, wenn auch noch für  $\lambda_E > \lambda_{abs}$  genügend Absorption stattfindet).

Bei dem in Figur 4 dargestellten Wellenlängenspektrum ist auf der Abszisse die Wellenlänge  $\lambda$  und auf der Ordinate die In-  
10 tensität jeweils ohne Skalierung aufgetragen. Das Emissionsspektrum ES der Emissionsschicht E mit einer Peak-Wellenlänge  $\lambda_E$  befindet sich bei kürzeren Wellenlängen als das Re-Emissionsspektrum RS der Re-Emissionsschicht R mit einer Peak-Wellenlänge  $\lambda_R$ . Bei einer Wellenlänge  $\lambda_{abs}$  zwischen dem  
15 Emissionsspektrum ES und dem Re-Emissionsspektrum RS liegt die Absorptionskante K der Re-Emissionsschicht R.

Bei dem Bänderschema von Figur 5 ist die Energie senkrecht aufgetragen. Der linke Teil zeigt die Bandlücke der Emissionsschicht E; der senkrechte und der schlangenförmige Pfeil  
20 deutet einen strahlenden Übergang in der Emissionsschicht an. Der rechte Teil des Bänderschemas zeigt die Bandlücke der Re-Emissionsschicht R mit Zuständen in der Bandlücke. Der senkrechte und der schlangenförmige Pfeil deuten wiederum einen  
25 strahlenden Übergang in der Re-Emissionsschicht an. Die Re-Emission in der Re-Emissionsschicht R wird durch die von der Emissionsschicht E ausgesandte Strahlung angeregt.

Ein bevorzugtes Materialsystem für die Herstellung eines derartigen Halbleiterchips ist beispielsweise eine zweite Halbleiterschicht E, die  $Cd_xZn_{1-x}Se/ZnSe$  (mit  $0 \leq x \leq 1$ ) enthält,  
30 auf einem ZnSe-Substrat als erste Halbleiterschicht R.

ZnSe besitzt bei Raumtemperatur eine Bandlücke von 2,7eV, was  
35 einer Wellenlänge von 460 nm entspricht. Bei vielen Züchtungsmethoden von Volumenmaterial führen die hohen Temperaturen oder die mangelnde Reinheit der Ausgangsmaterialien dazu,

daß Verunreinigungen unabsichtlich in die Kristalle eingebaut werden, die dann zu Zuständen in der Bandlücke führen können. Eine besonders starke Raumtemperatur-Lumineszenz um 600 nm zeigen leitfähige ZnSe-Substrate, wie sie zum Beispiel durch nachträgliches Tempern in Zinkdampf oder durch Dotierung mit Aluminium erzeugt werden können.

Als zweite Halbleiterschicht E eignet sich in diesem Fall beispielsweise eine einfache ZnSe-p-n-Diode mit einem (Cd,Zn)Se/ZnSe-Mehrfachquantentrogssystem als aktive Zone (elektrolumineszierender Bereich B). Je nach Cadmiumgehalt kann die Wellenlänge  $\lambda_E$  der von einer derartigen aktiven Zone emittierten Strahlung vom Blauen (460 nm) bis ins Grüne (540 nm) verschoben werden.

15

Die Absorptionskante  $\lambda_{abs}$  des Substrates ist durch einen hohen Jodgehalt zu etwa 515 nm hin verschoben. Damit sind alle Voraussetzungen für ein Halbleiterbauelement gemäß dem Ausführungsbeispiel von Figur 1 erfüllt, wenn zum Beispiel eine Lumineszenzdiodenstruktur mit 489 nm und/oder 508 nm Emissionswellenlänge auf dem Substrat aufgebracht ist.

20

Als Substrat wird bevorzugt ein ZnSe:I-Substrat verwendet, das mittels Bridgeman-Züchtung hergestellt ist. Weitere mögliche Substrat-Züchtungsmethoden sind die Jodtransport-Züchtung und die Sublimationszüchtung.

25

Das oben beschriebene Substrat muß nicht unbedingt als Substrat während des Wachstumsprozesses der Schichten gedient haben. Vielmehr kann ein Kontakt von Schicht und Absorptions/Re-Emissions-Substrat auch erst im nachhinein zum Beispiel durch Wafer-Bonding hergestellt werden.

30

Die gewünschte Mischfarbe kann durch geeignete Wahl der emittierenden Schicht (zweite Halbleiterschicht E) und des Substrats (erste Halbleiterschicht R) erreicht werden.

35

## Patentansprüche

1. Halbleiterbauelement zur Erzeugung von mischfarbiger elektromagnetischer Strahlung (S), insbesondere von weißem Licht,  
5 das einen Halbleiterchip (C) mit einer ersten Halbleiterschicht (R) und einer benachbart zu dieser angeordneten zweiten Halbleiterschicht (E) aufweist und die zweite Halbleiterschicht (E) einen elektrolumineszierenden Bereich (B) enthält, dadurch gekennzeichnet, daß die erste  
10 Halbleiterschicht (R) ein Material aufweist, das bei Anregung mit einer von der zweiten Halbleiterschicht (E) ausgesandten ersten elektromagnetischen Strahlung einer Wellenlänge  $\lambda_E$  Strahlung mindestens einer kleineren Wellenlänge  $\lambda_R$  re-emittiert und daß die emittierte Strahlung der Wellenlänge  $\lambda_E$   
15 und die re-emittierte Strahlung  $\lambda_R$  der Wellenlänge zusammen die mischfarbige Strahlung (S) ergeben.

2. Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
20 die erste Halbleiterschicht (R) vorzugsweise ein Material aufweist, das eine Absorptionskante besitzt, deren Energieniveau einer Wellenlänge  $\lambda_{abs}$  entspricht, die größer ist als die Wellenlänge  $\lambda_E$  der von der zweiten Halbleiterschicht (E) emittierten Strahlung, und das bei Anregung mit Strahlung einer kleineren Wellenlänge als  $\lambda_{abs}$  Strahlung der Wellenlänge  
25  $\lambda_R$  re-emittiert, die größer ist als  $\lambda_{abs}$  ist.

3. Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 1 oder 2,  
30 dadurch gekennzeichnet, daß ein Substrat zum epitaktischen Aufwachsen der zweiten Halbleiterschicht (E) gleichzeitig als erste Halbleiterschicht (R) genutzt ist.

35 4. Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß

die erste Halbleiterschicht (R) zwischen einem Aufwachs-Substrat (A) und der zweiten Halbleiterschicht (E) angeordnet ist.

- 5 5. Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht (R) auf einer dem Aufwachs-Substrat (A) gegenüberliegenden Seite der zweiten Halbleiterschicht (E) angeordnet ist.

10

6. Halbleiterbauelement gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht (R) dotiertes ZnSe und die zweite Halbleiterschicht (E)  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Se}/\text{ZnSe}$

15 (mit  $0 \leq x \leq 1$ ) aufweist.

Kfe

1/2

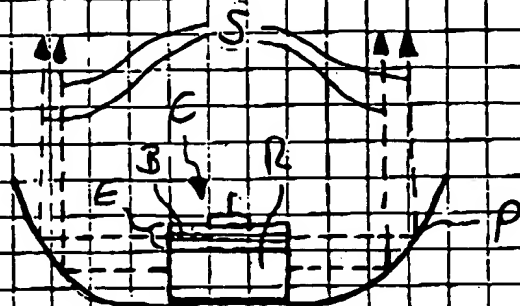


Fig. 1

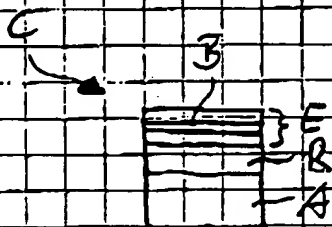


Fig. 2

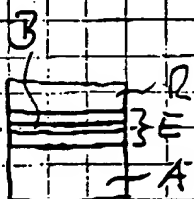


Fig. 3

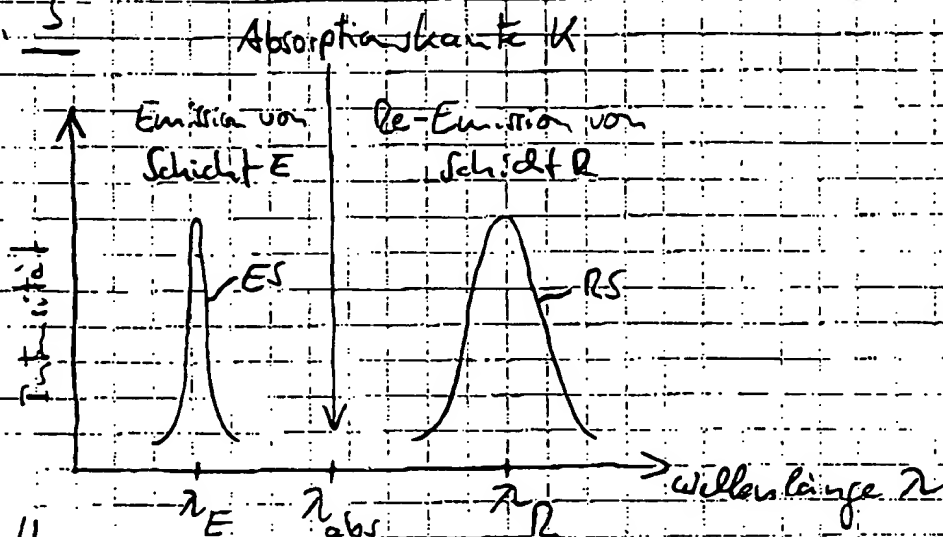
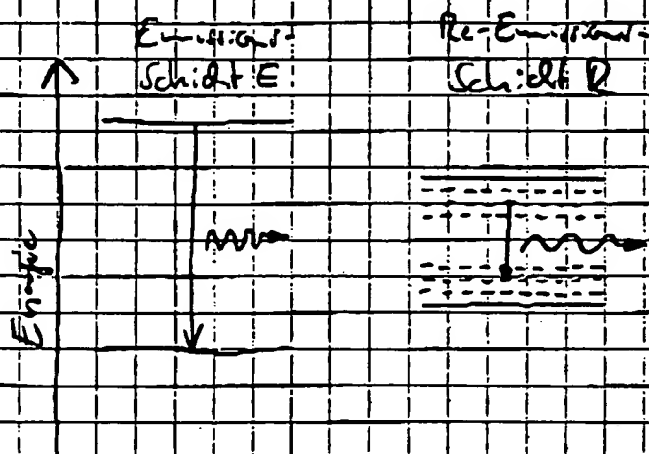


Fig. 4



2/2

Fig. 5



Creation date: 12-01-2003  
Indexing Officer: HTRAN5 - HENRY TRAN  
Team: OIPEBackFileIndexing  
Dossier: 09915985

Legal Date: 06-05-2002

No.	Doccode	Number of pages
1	CTNF	7
2	892	1
3	1449	2

Total number of pages: 10

Remarks:

Order of re-scan issued on .....